

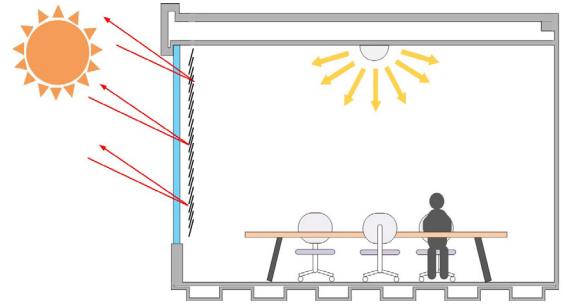
## 태양광 반사형 전동 블라인드의 제어 및 시뮬레이션

송승관\*, 김경주\*, 이신희\*, 박진배\*  
연세대학교 전기전자공학과\*

### Control and Simulation of Sun Light Reflection Electric Blind

Seung Kwan Song\*, Kyoung Joo Kim\*, Shin Ho Lee\*, Jin Bae Park\*  
Dept. of Electrical and Electronic Eng., Yonsei University\*

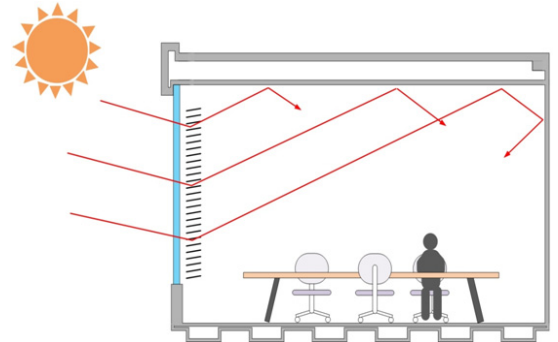
**Abstract** -반사형 전동 블라인드는 BEMS(Building Energy Management System)에 이용되는 조명 에너지 절감 장치로서, 블라인드 날개를 반사형 재질로 제작하여, 외부 채광이 블라인드 날개에 반사되어 천장에 반사되고 반사된 빛은 천장에서 확산되어 실내 깊숙이 부드럽고 균일한 조도를 공급해 준다. 이를 이용하면, 실내 거주자의 불편함 없이 실내 인공조명 사용량을 줄일 수 있다. 이를 구현하기 위해서는 태양광선의 고도의 변화에 따라 블라인드의 제어 각도를 계산하여 블라인드 제어 전동 모터를 구동해야 한다. 따라서 본 논문에서는 외부 채광을 실내 천장 면에 균일하게 반사할 수 있는 블라인드 날개의 제어 각도의 최적 조건을 제시하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제시한 블라인드 날개 각도의 최적성을 검증하였다.



<그림 1> 기존 블라인드 개략도

## 1. 서 론

에너지 사용 절감 방법은 크게 고효율의 제품을 사용하는 방법과 사용자가 스스로 에너지를 절약하는 방법이 있다. 후자의 방법은 사용자 스스로 지각하고 실천해야 하므로 강제성을 띠지 않고서는 잘 행해지지 않으며 사용자가 불편함을 느낄 경우 더욱 어려운 일이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 자동 제어 방법을 이용하여 환경의 쾌적함을 유지하면서 에너지 사용을 최소화하는 방법들이 연구되어 왔다. 빌딩 에너지 관리 시스템(Building Energy Management System: BEMS)은 자동 제어 기법을 이용하여 조명, 공조, 습도 등 거주자의 쾌적함을 제공하는 동시에 에너지를 절약할 수 있는 시스템을 의미하는데, 본 논문에서 제안하는 태양광 반사형 전동 블라인드는 BEMS의 항목들 중에서 조명 에너지 절감을 위한 시스템이다.



<그림 2> 반사형 블라인드 개략도

건물의 에너지 사용량의 33.5%는 조명 에너지로 소모되며, 이 중 1/3에 해당하는 에너지가 주간 조명 사용량에 해당한다[1]. 이 주간 조명 사용량은 외부 채광(태양광)을 실내에 유입시킴으로써 절감이 가능하지만, 이는 실내 거주자의 의지에 따라 달라질 수 있다. 특히 조명 에너지의 사용 비용을 직접적으로 지불하지 않는 회사, 관공서 같은 공공 기관에서는 주간 조명 사용량을 줄이는데 한계가 있다. 이러한 건물들의 대부분은 그림 1과 같이 외부 채광을 블라인드로 차단하고 실내 조명을 사용하여 실내 조도를 유지하는데, 외부 채광의 성질상, 수평적 채광으로 창가로부터 멀어질수록 조도가 급격히 떨어지며, 태양광의 직사광선이 강해 눈부심이 심하기 때문에 조명으로 이용하기에는 한계가 있다. 외부 채광의 직접조명의 단점을 극복하기 위해 일본의 시미즈 건설 회사에서는 채광 시스템인 그라데이션 블라인드를 개발하였으며, 이 블라인드는 기존의 블라인드와 달리 블라인드 날개가 거울과 같은 반사형 물질로 코팅되어 있어 빛을 반사할 수 있게 설계되어 있다. 그림 2와 같이 블라인드의 날개 각도를 제어하여 천장으로 자연광을 반사시키면, 반사된 외부 채광은 천장에서 반사되면서 확산되어 눈부심이 강한 직사광에서 눈부심이 적고 부드러운 간접 광으로 바뀌어 실내 깊숙이 퍼지게 된다. 또한 블라인드 날개의 각도에 따라 창가로부터 멀리 떨어진 곳까지 균일한 조도를 공급해줄 수도 있다. 반사형 블라인드를 제작하기 위해서는 반사형 물질로 코팅된 블라인드 날개, 태양의 고도 측정 센서, 날개제어를 위한 제어 모터와 제어 모듈이 필요하며, 특히 제어 모듈은 태양 광선의 각도와 실내 공간의 크기를 고려하여 블라인드 날개의 각도를 자동으로 제어할 수 있어야 한다.

## 2. 본 론

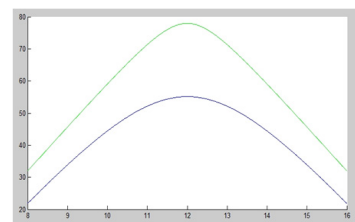
### 2.1 태양 광선의 각도 범위 계산

반사형 블라인드는 외부 태양 광선을 천장에 반사시키는 메커니즘이기 때문에 태양의 고도 범위의 측량이 중요하다. 평균 근무 시간 9시부터 16시 사이의 태양광을 주로 이용하기 때문에 9시와 16시 사이의 변화하는 태양 광선을 모두 반사할 수 있는 범위에서 제어 각을 설계해야 한다. 한편, 태양의 고도는 식 (1)에 의해 계산될 수 있다.

$$h = \sin^{-1}(\sin\delta\sin\phi + \cos\delta\cos\phi\cos t) \quad (1)$$

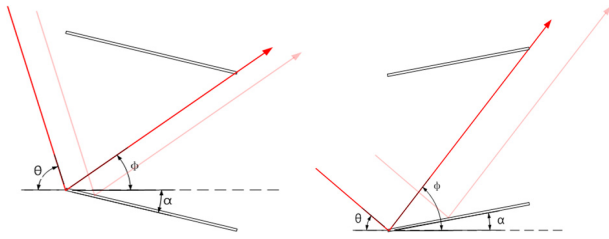
여기서,  $h$ 는 태양의 고도,  $\delta$ 는 적위,  $\phi$ 는 위도,  $t$ 는 시각(1 시간 = 15°)이다.

<그림 3>은 고도 계산법에 근거한 8시부터 16시 사이의 태양의 고도에 대한 그래프이다.



<그림 3> 시간별 태양의 고도

따라서 본 논문에서는 외부 채광을 실내 천장면에 균일하게 반사할 수 있는 블라인드 날개의 제어 각도에 대한 최적 조건을 제시한다. 실제 적용을 위해 서울의 위도를 기준으로 태양의 고도 범위를 계산하여 태양의 고도 범위와 실내 공간의 규격에 따른 반사 가능한 블라인드의 제어 범위를 계산하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제시된 방법에 의해 계산된 블라인드 날개의 제어 각도에 대한 타당성을 검증하고자 한다.



〈그림 4〉 블라인드 반사 타입 1과 2

두 그래프는 각각 동짓날과 하짓날을 기준으로 한 그래프로써, 9시부터 16시 사이의 태양의 고도가 대략 20°에서 80° 사이라는 것을 알 수 있다. 따라서, 블라인드는 이 범위 안에 있는 광선을 원하는 각도로 천장에 반사시킬 수 있는 구조로 설계되어야 한다.

## 2.2 블라인드 설계

블라인드의 기본 기능인 채광을 차단하는 기능을 유지하기 위해서는 블라인드를 닫은 상태에서 블라인드 날 사이의 간격이 없어야 한다. 따라서 블라인드 날의 너비가 블라인드 날 사이의 간격보다 같거나 넓어야 한다. 따라서 본 논문에서는 블라인드 날의 너비가 블라인드 간격과 동일한 상태에서 설계한다. 블라인드 면을 반사형 재질로 제작하면 블라인드에 도달한 태양 광선은 반사의 법칙에 따라 반사된다. 이 때 천장으로 조사되는 광선의 각도( $\phi$ )는 반사의 법칙에 따라 식 (2)와 같이 태양의 고도( $\theta$ )와 블라인드의 각도( $\alpha$ )의 함수가 된다.

$$\phi = \theta + 2\alpha \quad (2)$$

한편 천장으로 조사되는  $\phi$ 는 방의 크기와 천장에 조사를 원하는 위치에 따라 결정되는 값이므로,  $\theta$ 가 바뀔 때  $\alpha$ 가 제어되어야만 천장으로 조사되는  $\phi$ 는 균일하게 유지할 수 있다. 예를 들어,  $\phi$ 를 50°로 설정할 경우, 태양의 고도는 20°에서 80° 사이이므로  $\alpha$ 는 -15°에서 15° 사이의 값을 갖게 된다.

## 2.3 블라인드 제어 각도 범위 계산

$\phi$ 는 설계 파라미터(design parameter)이지만 아래 블라인드 날에 반사된 광선의 진로를 위쪽의 블라인드 날이 방해하지 않아야만 하기 때문이다. 반사 광의 진로를 방해하는 경우를  $\alpha$ 가 음수(타입 1)와 양수(타입 2)인 경우로 나눌 수 있다. 타입(type) 1은  $\alpha$ 가 더 작아질 경우 반사광이 위의 블라인드에 의해 진로가 차단되며, 타입 2는  $\alpha$ 가 더 커질 경우 반사광의 진로가 차단된다 <그림 4>.

### 2.3.1 블라인드 타입1의 제어 각도 범위

블라인드 타입 1의 경우 계산과정의 편의를 위해,  $\alpha$ 를 양수로 설정하여 블라인드의 간섭을 받지 않고 채광을 반사시킬 수 있는 범위는 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$\phi = \theta - 2\alpha \quad (3)$$

여기서,  $\alpha < \theta < \tan^{-1}\left(\frac{1 - \sin\alpha}{\cos\alpha}\right) + 2\alpha$ ,  $-\alpha < \phi < \tan^{-1}\left(\frac{1 - \sin\alpha}{\cos\alpha}\right)$ 이다.

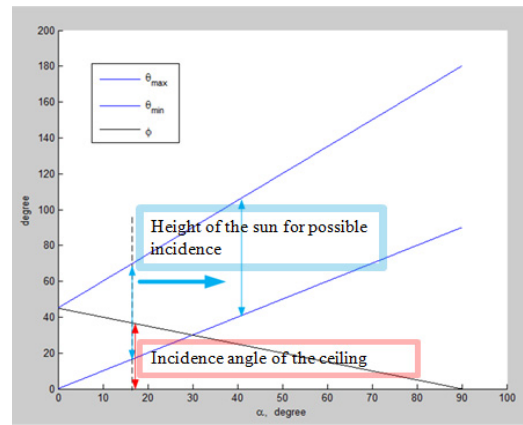
<그림 5>로부터,  $\alpha$ 가 증가함에 따라 천장의 조사 각의 범위는 점차 줄어들며, 반사 가능한 태양광의 고도는 점차 증가함을 알 수 있다. 태양의 고도의 최대각 80°를 반사시킬 수 있는 최대 블라인드 각도는 약 25°이며 이 때, 천장으로 조사되는 광선의 각도는 약 38°가 된다. 즉  $\alpha$ 를 음수로 설정할 경우, 천장으로 조사되는 광선의 각도를 38° 이상로 설정하면 모든 태양 광선을 천장으로 조사시킬 수 있음을 알 수 있다.

### 2.3.2 블라인드 타입 2의 제어 각도 범위

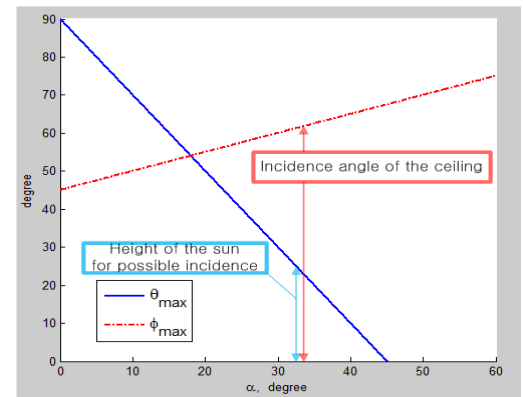
블라인드 타입 2의 경우, 블라인드의 간섭을 받지 않고 채광을 반사시킬 수 있는 범위는 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$\phi = \theta + 2\alpha \quad (4)$$

여기서,  $0 < \theta < 2\tan^{-1}\left(\frac{1 + \sin\alpha}{\cos\alpha}\right) - 3\alpha$ ,  $0 < \phi < \tan^{-1}\left(\frac{1 + \sin\alpha}{\cos\alpha}\right)$ 이다.



〈그림 5〉 태양 고도와 조사각의 범위 (타입 1)



〈그림 6〉 태양 고도와 조사각의 범위 (타입 2)

블라인드 타입 2는 블라인드 타입 1과 달리  $\alpha$ 가 증가함에 따라  $\phi$ 가 증가하지만,  $\theta$ 는 급격하게 감소한다<그림 6>. 따라서 태양의 고도각의 최대각 80° 이내에서 작동하기 위해서는  $\alpha$ 는 약 8° 이내의 범위를 갖게 되며 이때,  $\phi$ 는 45°에서 50°가 된다.

## 3. 결 론

조명 에너지 사용량의 감소를 위한 채광 시스템인 반사형 블라인드를 구현하기 위해서는 태양의 고도에 따라 블라인드의 날개의 각도를 조절 해주어야 한다. 따라서 본 논문에서는 이와 같은 반사형 블라인드의 효율성을 증명하기 위하여 블라인드 날개의 제어 각도에 대한 최적 조건을 제시하였고, 제시된 방법에 의해 태양 고도의 범위를 산출하고, 범위 안에서 균일한 각도로 반사시킬 수 있는 제약 조건에 대해 계산하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과로부터, 9시부터 16시 사이의 태양광은 20°~80° 사이의 고도범위를 가지며, 38°~50°로 천장으로 태양광을 조사할 수 있음을 확인할 수 있었다. 한편 반사형 블라인드는 전기 조명 설비와 병용하여 조명용 소비에너지를 절감할 수 있으리라 예상되며, 또한 종래의 채광 설비와 달리 특수한 설비가 불필요해 설계의 자유도가 높아 보급이 쉬울 것이라 예상된다. 이를 구현하기 위해서는 자동 조광 기능부, 블라인드 각 제어부의 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부 에너지·자원기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## [참고 문헌]

- [1] 정광섭, “에너지효율 향상을 위한 건축 설비 최적설계 및 관리시스템 기술개발 연구보고서”, 한국건설기술연구원, 2004
- [2] “반사형 그라데이션 블라인드”, Techno Leaders’ Digest(TLD), 210호, 2008
- [3] 김지태, 안현태, 김곤, “통합 채광시스템의 건물 냉난방 에너지 성능 평가”, 조명전기설비학회논문지, 19권 6호, pp.1~8, 2005
- [4] 윤혜경, “친환경 건축계획상의 자연광 조명 시스템 디자인과 평가”, 대한건축학회, 제52권 5호, pp.64~67, 2008